Aus der 4. Medizinischen Universitätsklinik
im Städt. Robert-Koch-Krankenhaus
Direktor: Professor Dr. Dennig

Der Milchsäuregehalt im Blut nach wiederholter körperlicher Arbeit u. ihre Beeinflussung durch Ascorbinsäure

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Medizinischen Doktorgrades

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

HANS ACHIM VIERECK

aus Mainz

Tag der Promotion: 31. Mai 1941

Buchdruckerei Franz Linke, Berlin NW 7, Marienstr. 13

M 72

Gedruckt mit Genehmigung
der
Medizinischen Fakultät der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. L. Kreuz
Referent: Dr. habil Groscurth
Korreferent: Dr. von Bergmann

Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet.

Der Einfluß des Vitamin C bzw. der Ascorbinsäure auf die Funktion der Muskulatur ist wiederholt untersucht worden. So berichtet Sievers: Isolierte in Ringerlösung gebadete Froschmuskeln erfahren bei Zusatz von 0,05—0,1 mg% Ascorbinsäure gesteigerte Kontraktionshöhe und verlangsamte Ermüdung. Dasselbe fand auch Guarnaschelli-Raggio bei Zusatz von 0,2—6 mg% Ascorbinsäure. Billing stellte eine deutliche energiesteigernde Wirkung auf das isolierte in Serumsalzlösung arbeitende Froschherz durch Ascorbinsäure fest. Ratsimanga beobachtete, daß vitamin-C-frei ernährte Meerschweinchen die Ermüdung bei erzwungener Arbeit schlechter vertrugen, als die normal ernährten Kontrollen.

Außer diesen tierexperimentellen Untersuchungen liegen auch Ergebnisse über die Beeinflussung der Muskeltätigkeit beim Menschen vor. Wiebel belastete Sportstudentinnen mit Vitamin C und konnte in einigen Fällen eine Leistungssteigerung feststellen.

Sieburg berichtet ebenfalls von einer Steigerung der Leistung durch Vitamin-C-Gaben. Die auf der Heeressportschule gemachte Beobachtung der schlechteren Leistungen der im Frühjahr geschulten Soldaten gegenüber denen in anderen Jahreszeiten untersuchte Krainz und konnte das Leistungsdefizit durch Gaben von Vitamin C ausgleichen. Sobecki stellte eine Leistungssteigerung im Weitsprung bei Rekruten fest, denen er Vitamin-C-Tabletten gegeben hatte, gegenüber denen, die Blindtabletten erhalten hatten. Lemmel beobachtete eine körperliche Leistungsverbesserung bei Kindern eines Taubstummenheims durch Vitamin-C-Gaben. Jezler und Kapp empfanden in Selbstversuchen eine leistungssteigernde Wirkung bei sportlicher Tätigkeit nach Vitamin-C-Aufnahme.

Untersuchungen von Hamel über die Stoffwechselbilanz des Vitamin C brachten den Beweis des Mehrverbrauchs an Vitamin C bei körperlicher Arbeit, und zwar ist der Verbrauch proportional der Intensität der Arbeit. Van Eckelen und Klooy fanden bei Rattenermüdungsversuchen einen Abfall des Ascorbinsäuregehaltes in Nebenniere und Leber gegenüber Kontrolltieren als Beweis des Vitamin-C-Verbrauchs bei körperlicher Arbeit.

Außer diesen Untersuchungen wurden auch durch Vitamin C bedingte Veränderungen in Blut und Muskulatur festgestellt. Ratsimanga fand bei Meerschweinchen eine Senkung des Milchsäuregehaltes der Muskulatur und des Blutes sowohl in der Ruhe als auch bei der Arbeit. Gleichzeitig trat auch eine Erhöhung des Glykogengehaltes in Muskulatur und Leber auf. Letzteres bestätigen auch die Versuche von Altenburger. Terzi und Falzoy beobachteten bei Versuchspersonen mit hohem Milchsäurespiegel, gemessen in Ruhe und in nüchternem Zustand, eine Senkung, bei Personen mit niedrigem eine Steigung des Milchsäurespiegels durch Vitamin C.

Von besonderem Interesse erschien es uns, die Beeinflussung der Milchsäure bei körperlicher Arbeit durch die Ascorbinsäure zu untersuchen, weil sich vielleicht durch deren verändertes Verhalten die erwähnte Leistungssteigerung erklären ließe. Zur Prüfung, wieweit sich die Wirkung der Ascorbinsäure auch auf kurz aufeinanderfolgende Arbeiten und damit auf die Erholung nach der Arbeit erstreckt und ob der Einfluß des Vitamins sich bei wiederholten Arbeiten erschöpft, wurde eine Doppellaufzeit für die Versuche festgesetzt.

Methodik: Ich lief auf einem Laufband bei einem Tempo von 172 m/Min. und einer Steigerung von 50 : 1000 m 15 Minuten, machte dann auf einem Ruhebett eine Pause von 5 Minuten, um dann noch einmal bei demselben Tempo und derselben Steigung 15 Minuten zu laufen. Nachdem diese Läufe 20 mal zum Training durchgeführt waren, wurde mit der Milchsäurebestimmung begonnen. Um den normalen Milchsäurespiegel zu erreichen, wurde vor den Versuchen 20 Minuten geruht. (Nach Mendel, Engel und Goldscheider ist eine Ruhe von 20 Minuten als ausreichend anzusehen, da nach einer kleinen Belastung — zweimal 15 m Treppensteigen in 90 Sek. — in dieser Zeit der Ruhewert wieder erreicht war.) Nach dieser Ruhezeit wurde die erste Blutentnahme zur Milchsäurebestimmung vorgenommen und im Anschluß daran 15 Min. gelaufen. Sofort nach dem Lauf wurde wieder Blut entnommen, während ich auf dem Ruhebett lag. Nach 15 Minuten wurde im Anschluß an die Blutentnahme wieder 15 Min. gelaufen. Sofort nach dem zweiten Lauf, nach 10 Min. und nach 20 Min. Ruhe auf dem Ruhebett, fanden dann weitere Blutentnahmen statt.

Die Milchsäurebestimmung wurde in einer von Herrn Professor Lohmann in freundlicher Weise persönlich angegebenen Methode durchgeführt. Es wurde aus der kurz ge-

stauten vena cubitalis 5 ccm Blut entnommen. — Mendel, Engel und Goldscheider haben zwar gezeigt, daß der Milchsäuregehalt in den gestauten Venen höher ist als in ungestauten, und zwar sowohl wenn der Stauungsdruck über dem systolischen als auch unter dem diastolischen bleibt. Die Länge der Stauung verändert den erhöhten Stauungswert nur unwesentlich. Als Ursache wird mangelnde Sauerstoffversorgung und Ausquetschung der Muskulatur durch die Stauungsmanschette angenommen. Trotzdem glaubten wir aus technischen Gründen das Blut aus der gestauten Vene entnehmen zu dürfen, da uns die Schnelligkeit der Entnahme wichtiger erschien, als der hierdurch entstehende Fehler. — Das entnommene Blut wird sofort mit 20 ccm 6 % Trichloressigsäure zur Enteiweißung versetzt. Diese Lösung wird zentrifugiert und dann filtriert. Zu 14 ccm dieses Filtrates werden zur Entzuckerung (nach Salkowski-von Slyke) 4 ccm 10 % wässerige Kupfersulfatlösung und 6 ccm 10% Calciumhydroxyd-Suspension hinzugefügt. Diese Flüssigkeit bleibt 30 Min. stehen, wird dann zentrifugiert und anschließend filtriert. Aus diesem Filtrat wird die Milchsäure durch Destillation in Acetaldehyd (nach v. Fürth und Charnass) überführt. 8 ccm des Filtrates werden mit 6 ccm 2-mol. Phosphorsäure versetzt und mit aqua dest. auf 100 ccm aufgefüllt. Diese Lösung wird im Destillationsapparat langsam erhitzt und zum Sieden gebracht. Nach Beginn des Siedens läßt man aus einem Tropftrichter langsam 100 ccm einer n/250 Kaliumpermanganatlösung innerhalb 10 Min. zutropfen. Nach dem von Clausen angegebenen Verfahren wird durch eine Wasserstrahlpumpe der sich beim Sieden bildende Acetaldehyd in eine Vorlage gesogen, nachdem sich der Wasserdampf in einem Liebig'schen Kühler niedergeschlagen hat. In der Vorlage befinden sich 3 ccm n/10 Kaliumbisulfitlösung und 0,3 ccm Standardacetatpuffer. Nach 10 Min. Siedens wird die Destillation unterbrochen. Der in der Vorlage befindliche Acetaldehyd wird nach Clausen in folgender Weise bestimmt: In die Vorlage gibt man 1 ccm einer 1 % in Kochsalzlösung gesättigten Stärkelösung und titriert mit n/10 Jodlösung bis zur schwachen Bläuung. Nach Zusatz von Natriumbikarbonat im Ueberschuß, etwa 2 Teelöffel, titriert man mit n/200 Jodlösung wieder bis zur schwachen Bläuung. Es entspricht dann 1 ccm verbrauchter n/200 Jodlösung 0,225 mg Milchsäure. Durch Umrechnung erhält man dann die in 100 ccm Blut enthaltenen mg Milchsäure.

Die Versuche fanden zunächst bei vitamin-C-armer normaler Frühjahrskost statt und daran anschließend bei starker

Vitamin-C-Belastung, indem ich am ersten Tag, an dem ich unter Vitamin-C-Wirkung lief, vor dem Laufen nach der ersten Blutentnahme 400 mg Ascorbinsäure in Form von „Redoxon forte" intravenös erhielt. Um auch an den folgenden Tagen unter starker Vitamin-C-Wirkung zu stehen, nahm ich an demselben Tag und an dem folgenden 1000 mg Ascorbinsäure per os als „Redoxon Tabletten", an den nächst folgenden Tagen 500 mg und vor dem letzten Versuchstag 250 mg. Leider konnten aus zeitlichen Gründen weitere Versuche ohne Vitamin-C-Zufuhr nicht mehr durchgeführt werden.

Zur Beobachtung der Vitamin-C-Bilanz wurde die Ascorbinsäure täglich im Morgenurin nach der von Tillmanns angegebenen und von Jezler und Niederberger abgeänderten Methode bestimmt. Diese Methode ist zwar nicht spezifisch für die Ascorbinsäure, sondern für alle reduzierenden Substanzen des Harns. Da diese jedoch eine weitgehende Konstanz zeigen, ist in unserem Falle eine Zunahme der Reduktionsmittel im Harn als eine Zunahme der Vitamin-C-Ausscheidung anzusprechen. Durchführung der Bestimmung:

Zu 2 ccm frischgelassenen Harn, dem 0,2 ccm Eisessig zugegeben sind, tropft man soviel Dichlorphenolindolphenol-Lösung, die aus 1 Tablette „2,6 Dichlorphenolindolphenol-Roche" und 50 ccm aqua dest. hergestellt ist, bis ein 30 Sekunden lang anhaltender Farbumschlag auftritt. Die Menge der zugegebenen Indikatorlösung, gemessen in ccm, gibt die im Harn enthaltenen mg% Ascorbinsäure an.

Ergebnisse der Versuche.

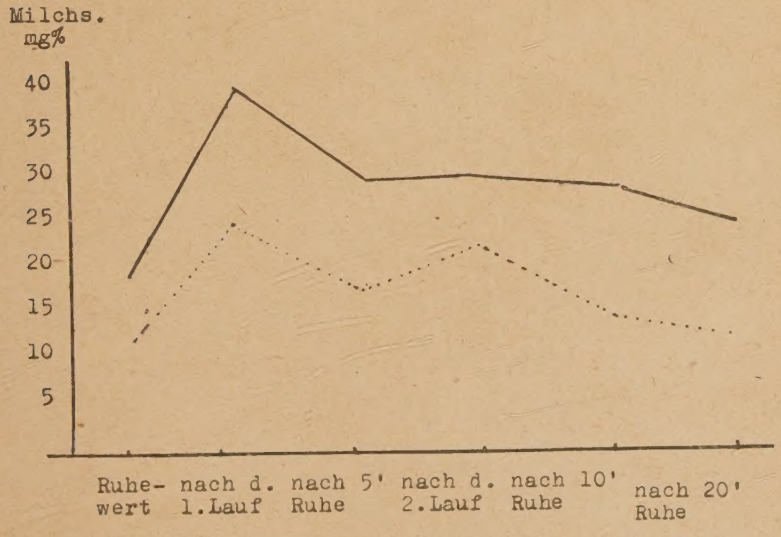
1. Milchsäurewerte in mg% ohne Vitamin C-Belastung:

Dat.	Ruhe-wert	nach d. 1. Lauf	nach 5' Ruhe	nach d. 2. Lauf	nach 10' Ruhe	nach 20' Ruhe	Redukt. Vermög. d. Morgenurins gem. i. mg% Ascorbinsäure
22. 2.	—	—	—	29,8	—	—	—
23. 2.	17,3	—	—	26,0	—	—	—
1. 3.	15,4	—	—	30,1	—	—	—
2. 3.	18.4	—	—	(25,3)	—	—	—
4. 3.	15,9	—	—	31,3	—	—	—
5. 3.	—	37,4	28,4	30,4	31,3	—	3,2
6. 3.	19,2	38,1	29,4	31,5	30,5	24,3	3,3
7. 3.	19,7	35,0	25,8	—		26,0	2,4
8. 3.	—	41,4	32,7	28,4	23,5	22,5	3,3
Durchschitt	17,6	38,0	29,1	29,6	28,4	24,2	

2. Milchsäurewerte in mg% bei Vitamin-C-Belastung:

Dat.	Ruhe-wert	n. d. 1. Lauf	nach 5' Ruhe	n. d. 2. Lauf	nach 10' Ruhe	nach 20' Ruhe	Vitamin Aufnahme a. vorherg. Tag i. mg.	Ausscheidg. im Morgen-Urin i. mg%
9. 3.	14,5	30,4	19,3	24,8	14,9	13,2	400 i. v. vor d. Lauf	3,3
10. 3.	nicht gelaufen						1000 p. o.	14.2
11. 3.	gelauf., ohne Milchsäurewerte zu bestimm.						1000	8,2
12. 3.	„	„	—	„	„	„	500 „	9,8
13. 3.	10,7	—	—	21,7	13,0	11,6	500 „	7,2
14. 3.	14,7	27,5	25,6	30,8	21,7	14,0	500 „	5,3
15. 3.	11,8	22,7	15,9	23,1	13,5	12,1	500 „	5,0
16. 3.	10,4	20,2	13,7	19,3	—	12,5	250 „	3,8
17. 3								2,3
12. 3								2,2
Durchschn.*)	10,9	24,4	16,3	22,2	13,8	12,4		

Graphische Darstellung der Milchsäure-Durchschnitts-Werte:



*) Ohne die Werte vom 14. 3.

Die Versuche wurden im nüchternen Zustand ausgeführt, um Störungen von seiten der Ernährung auszuschalten.

Zu einzelnen Werten der Tabellen ist noch zu bemerken: Der auffallend niedrige Milchsäurewert am 2. 3. ist dadurch zu erklären, daß die Blutentnahme erst 7 Minuten nach Beendigung des Laufes vorgenommen wurde. Am 9. 3. ist der Ruhewert gegenüber den vorhergehenden Tagen abnorm niedrig. (Das Vitamin wurde erst nach der Blutentnahme injiziert.) Die Ruhezeit war an diesem Tage statt wie bisher 20 Minuten eine Stunde. Dieser niedrige Wert gab uns Veranlassung, zu untersuchen, ob der Milchsäurespiegel nach 20 Minuten Ruhe noch weiter absinkt. Dazu wurde bei zwei mit normaler Kost ernährten Studenten die Milchsäure nach 20 Min. und nach einer Stunde Ruhe bestimmt. Es ergaben sich Werte von 26,5 mg% und 19,0 mg% bzw. 14,0 mg% und 11,2 mg% im zweiten Fall. Der niedrige Milchsäurewert ist also am 9. 3. durch die längere Ruhepause bedingt. Die starken Abweichungen der Werte am 14. 3. haben ihre Ursache im Nichteinhalten der völligen Ruhe vor dem Lauf und während der Pausen zu finden.

Die Ergebnisse der Versuche:

Der Milchsäurespiegel ist ohne Vitamin C im Durchschnitt 17,6 mg%. Dieser Wert entspricht dem normalen Milchsäurespiegel, der mit 10—20 mg% angegeben wird. In der ersten Arbeitsphase steigt die Milchsäure um durchschnittlich 100 % ihres Ruhewertes an, um während der 5 Min. Pause um durchschnittlich 44 % des Anstieges wieder abzufallen. Beim zweiten Lauf steigt die Milchsäure dann nur sehr wenig gegenüber dem Wert vor dem zweiten Lauf. Am 8. 3. lag der Wert sogar unter demjenigen vor der Arbeit. Auch nach 10 Minuten Ruhe sind die Werte noch ziemlich hoch und wenig gesunken. In den nächsten 10 Minuten fallen die Werte dann ab, erreichen aber noch nicht den Ausgangswert.

Bei der Arbeit wird in der Muskulatur Glykogen zu Milchsäure abgebaut, die dann ins Blut übertritt. Dadurch steigt der Milchsäurewert des Blutes beträchtlich an und kann das Mehrfache seines Ruhewertes erreichen. Häuft sich bei ermüdender Muskelarbeit die Milchsäure an, so wird die Leistung des Muskels vermindert. Die Milchsäure wird so zum typischen Ermüdungsstoff und nimmt neben anderen den ersten Rang ein. In der Ruhe nach der Arbeit, der sogenannten oxygenen

Erholungsphase des Muskels, fällt dann die Milchsäure entsprechend der Arbeit ab: Je kürzer die Arbeit, desto schneller der Abfall (Mendel, Engel und Goldscheider), und zwar wird die Milchsäure einerseits, zu etwa 1/4, zu Kohlendioxyd und Wasser verbrannt, zu etwa 3/4 zu Glykogen wieder aufgebaut, andererseits zum Teil durch den Schweiß, zum Teil durch die Niere ausgeschieden. Bei den Versuchen fanden wir auch den von Mendel, Engel und Goldscheider beobachteten raschen Milchsäureabfall nach kurzer Arbeit, d. h. nach 15 Min. Laufen, und den langsamen Abfall nach langer Arbeit. Da nämlich vor dem zweiten Lauf noch keine völlige Erholung erlangt ist, muß der zweite Lauf als eine länger als 15 Minuten dauernde Arbeit bewertet werden. Daß nach dem zweiten Lauf die Milchsäure nicht denselben Wert erreicht wie nach dem ersten Lauf oder diesen überschreitet, möchte ich mit dem Eintritt des „second wind" erklären, der subjektiv nach Auftreten des toten Punktes empfunden wurde. Beim zweiten Lauf trat nach etwa 10 Minuten ein starkes Müdigkeitsgefühl und Atemnot auf. Nach wenigen Minuten schwanden diese Erscheinungen wieder und das Laufen wurde wieder leichter.

Unter der Einwirkung von Vitamin C sinkt der Milchsäurespiegel von durchschnittlich 17,6 mg % auf durchschnittlich 11,9 mg%. Damit bestätigen sich die Versuchsergebnisse von Ratsimanga und Terzi über den Abfall des Milchsäurespiegels durch Vitamin-C-Gaben. Als deren Ursache ist wohl die durch die Ascorbinsäure bedingte gesteigerte Fähigkeit des Organismus Glykogen aufzubauen anzusehen. Die Milchsäure stieg beim ersten Lauf um 100 % im Durchschnitt auf 24,4 mg%, d. h. der Anstieg war zwar zahlenmäßig geringer als ohne Ascorbinsäure, da der Ausgangswert niedriger lag, prozentual aber gleich. Es zeigt sich damit, daß die Milchsäurebildung durch die Ascorbinsäure nicht beeinflußt wird. Der Abfall der Milchsäurewerte in der Ruhe ist mit durchschnittlich 60 % deutlich schneller gegenüber 44 % ohne Vitamin. In der zweiten Arbeitsphase steigen die Milchsäurewerte ungefähr genau so hoch wie nach dem ersten Lauf. Nach dem zweiten Lauf fallen die Werte schnell ab und liegen nach zehn Minuten nur noch 15 % über dem Ruhewert und haben diesen nach 20 Minuten Ruhe schon fast erreicht. Diese Veränderung des Verhaltens der Milchsäure wird bei Betrachtung der Chemie der Ascorbinsäure klar. Die Ascorbinsäure ist nach v. Scent-Györgyi „das stärkste acyklische organische Reduktionsmittel". Ihre Aufgabe besteht darin, die Verbindung des Wasser-

stoffes mit dem Sauerstoff zu vermitteln. Ueber ein Ferment, das v. Scent-Györgyi Hexoxydase genannt hat, wird der Ascorbinsäure Sauerstoff zugeführt, der diese dann befähigt, Wasserstoff aufzunehmen und dadurch andere Stoffe zu oxydieren. Bemerkenswert ist, daß die Muskulatur den inneren Organen in der Schnelligkeit des Ascorbinsäure-Oxydationsvermögens überlegen ist, jedoch ein viel schwächeres Vermögen oxydierte Ascorbinsäure zu reduzieren besitzt (Wachholder und Podesta). So kam man dazu, einen Kreislauf des Vitamin C aufzustellen: Der Muskel nimmt reduziertes Vitamin aus dem Blute auf. Dieses wird beim Stoffwechsel oxydiert. Der größte Teil der oxydierten Form wird wieder ans Blut abgegeben und in inneren Organen wieder in die reduzierte Form zurückgeführt. Ein Teil des Vitamins wird allerdings durch irreversible Weiteroxydation verbraucht (Hamel). Tonutti fand in seinen histochemischen Untersuchungen, daß bei geringer Arbeitsleistung der Zelle das Vitamin C in Körnchenform in der Golgi-Zone liegt, bei gesteigerter Arbeitsleistung fließt das Vitamin in den Golgiapparat, wird dort an Apparatsubstanz, die offenbar als Schutzsubstanz fungiert, gebunden und dann ins Plasma abgegeben. Die intensive Beladung des Golgi-Apparates mit Vitamin C tritt nur bei gesteigerter Tätigkeit der Zelle ein und ist unabhängig von dem zugeführten Vitamin. Es besitzt also jede Zelle einen feinen Regulationsmechanismus für ihren Vitamin-C-Bedarf. Die Aufgabe des Vitamin C in der tätigen Zelle ist nun in einer Beschleunigung der Stoffwechselvorgänge zu sehen, die durch die ihm innewohnende Reduktionskraft bedingt ist. Da aber zu der Funktion des Vitamins Sauerstoff notwendig ist, wird seine Wirkung besonders in der aeroben Phase in Erscheinung treten. So wird die in meinen Versuchen beobachtete schnellere Milchsäurebeseitigung in der Erholungsphase bei Vitamin-C-Zufuhr erklärbar.

Auffällig ist der Anstieg der Milchsäure während des zweiten Laufes, der im Gegensatz zu den Beobachtungen ohne Ascorbinsäure steht. Es ist so zu erklären: Die Erholung in der Pause zwischen den beiden Läufen ist anscheinend nun so weitgehend, daß der erste Lauf ohne Einfluß auf den zweiten Lauf bleibt, zumindest in bezug auf das Verhalten der Milchsäure, und somit die Milchsäure beim zweiten Lauf das gleiche Bild bietet wie beim ersten Lauf. Dadurch war ein Einklinken neuer Regulationsmechanismen zur Energiegewinnung nicht erforderlich, da hierzu eine bestimmte Milchsäuremenge bzw.

ein bestimmter Grad der Acidose erreicht sein muß (Lehmann).

Als weiteres begünstigendes Moment für die bessere Leistungsfähigkeit ist die durch das Vitamin C bedingte Glykogen-Speicherung in Muskulatur und Leber anzusehen, wie sie von Ratsimanga und Altenburger nachgewiesen wurde.

Es werden also durch das Vitamin C die Verhältnisse für die körperliche Arbeit verbessert:

1. durch eine allgemeine Senkung des Milchsäurespiegels,
2. durch eine schnellere Beseitigung der bei der Arbeit auftretenden Milchsäure während der Erholungsphase, und
3. durch eine Vergrößerung der Kohlehydratvorräte.

Die Einwirkung auf die Milchsäurebeseitigung auch nach dem zweiten Lauf beweist, daß sich durch den ersten Lauf die Vitamin-Wirkung keineswegs erschöpft hat.

Auch subjektiv wurde das Laufen unter Vitamin leichter empfunden. Ich fühlte mich vor allem nach der Fünfminutenpause zwischen den beiden Läufen wesentlich frischer und erholter. Die Erscheinungen des toten Punktes traten nicht auf.

Die Ascorbinsäure-Ausscheidungen im Urin vor der Belastung schwankten um 3,1 mg% und stimmen damit mit den von verschiedenen Autoren gefundenen Zahlen über die normale tägliche Ausscheidung überein. Nach der Zufuhr von 400 mg Ascorbinsäure per injectionem und 1000 mg per os stieg die Ausscheidung auf 14,2 mg% am nächsten Morgen. Da nach Jezler, Kapp und Hamel bei täglichen Gaben von Vitamin C zunächst ein gewisses Defizit gedeckt wird, dann aber eine täglich konstante Ausscheidung bei etwa 1/3 Retention der zugeführten Menge stattfindet und nach Tonutti eine Speicherung von Vitamin C nur in ganz geringem Maße in der Nebenniere, den Hodenzwischenzellen und den Deciduazellen möglich ist, ist die große Ausscheidung ein Zeichen, daß dem Organismus reichlich im Uebermaß Vitamin C zugeführt wurde, so daß er neben der Deckung des Defizites und der Auffüllung der Speicher noch beträchtliche Mengen ausscheiden mußte. Die Ausscheidung nahm an den folgenden Tagen trotz täglicher Gaben von 500 mg Ascorbinsäure langsam ab. Nach Absetzen des Vitamins fielen die Werte sofort auf 2,3 mg% ab, d. h. auf den normalen Ausscheidungswert. Dieses Absinken der Ausscheidung trotz täglicher Gaben von

500 mg Ascorbinsäure läßt schließen, daß der Verbrauch an Vitamin, sei es durch irreversible Oxydation im Muskelstoffwechsel, sei es durch Verbrennung im Sinne der spezifisch-dynamschen Wirkung, immer höher lag als die zugeführte Menge. Da aber bei normalen Verhältnissen ohne große körperliche Anstrengungen die Ausscheidung bei Vitamin-Belastung annähernd konstant bleibt bzw. eine steigende Tendenz zeigt, wie Hamel nachwies, der bei langdauernder Belastung mit Vitamin eine Abnahme des Vermögens des Körpers Vitamin C zu verbrennen beobachtete, kann man aus der fallenden Ausscheidungskurve bei den Versuchen einen gesteigerten Verbrauch während körperlicher Anstrengung ablesen. Es bestätigen sich damit die Untersuchungen von Hamel, van Eckelen und Klooy über den Mehrverbrauch an Vitamin C bei körperlichen Anstrengungen.

Das Bild, das uns das Verhalten der Milchsäure mit Vitamin C gegenüber dem ohne Vitamin bietet, ist ähnlich dem bei trainierter gegenüber untrainierter Körperverfassung. Auch dort finden wir neben der hauptsächlichen Glykogenvermehrung in der Muskulatur (Lehmann) eine Anreicherung an reduzierenden Substanzen wie Glutathion und Ascorbinsäure in den beanspruchten Muskeln und in den inneren Organen (Wachholder und Uhlenbrook), eine schnellere Oxydierung der Ascorbinsäure und gesteigertes Reduktionsvermögen der Ascorbinsäure in der Muskulatur (Schroll). Es sind damit die Bedingungen für eine beschleunigte Beseitigung der Milchsäure geschaffen, wie sie auch Ferrari und Lichtwitz nachweisen konnte. Eine Abnahme der Milchsäure im Muskel durch Training konnte Ferrari nachweisen. Wir erreichen also durch Training ein ähnliches Verhalten der Milchsäure wie durch Ascorbinsäure-Einwirkung. Man könnte sich deshalb fragen, ob ich bis zu Beginn der Versuche unter Vitamin-C-Belastung noch nicht im guten Trainingszustand war. Die plötzliche Veränderung der Milchsäurewerte nach der Ascorbinsäure-Zufuhr aber beweisen, daß nicht erst nach dem 30. Lauf ein guter Trainingszustand erzielt wurde, denn der Uebergang von der untrainierten zur trainierten Körperverfassung ist ein allmählicher. Es entspricht also in meinen Versuchen das Verhalten der Milchsäure vor der Vitamin-C-Belastung schon dem durch Training erreichbaren Zustand. Hierzu kommt nun noch eine wesentliche Verbesserung durch das Vitamin. Für die Tatsache, daß ich bei den Milchsäurebestimmungen schon im Trainingszustand

war, spricht auch, daß zu Beginn des Laufens bereits bei geringerer Steigung und bei geringem Tempo eine starke Ermüdung auftrat und erst nach mehreren Läufen die für die Versuche verlangten Bedingungen an Steigung und Tempo gut vertragen wurden.

Zur Kontrolle, ob der Abfall des Milchsäurespiegels im Blut durch das Training oder durch das Vitamin bedingt war, wurden an zwei Studenten folgende Versuche gemacht: Es wurde die Milchsäure nach 20 Minuten Ruhe bestimmt. Dasselbe wurde dann später nach Injektion von 500 mg Ascorbinsäure wiederholt. Die Milchsäure in einem Fall von 26,5 mg% auf 15 mg% sank unter Vitamin C, im anderen Fall von 14,0 auf 10,1 mg%. Damit ist bewiesen, daß der in den Versuchen beobachtete Milchsäureabfall nicht durch das Training, sondern durch das Vitamin C bedingt war.

Zusammenfassung.

Bei der Untersuchung über den Milchsäuregehalt im Blut nach wiederholter körperlicher Arbeit und ihre Beeinflussung durch Ascorbinsäure wurde gefunden:

1. eine allgemeine Senkung der Milchsäurewerte im Blut sowohl in der Ruhe als auch bei der Arbeit durch die Ascorbinsäure und eine dadurch bedingte geringere Ermüdung bei der Arbeit;
2. eine Beschleunigung der Milchsäurebeseitigung in der Erholungszeit der Muskulatur und eine dadurch bedingte schnellere Erholung nach der Arbeit;
3. keine Erschöpfung der Ascorbinsäure-Wirkung bei wiederholter körperlicher Arbeit.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Oberarzt Dr. Groscurth für die Ueberlassung des Themas und Hilfe bei den Versuchen und Herrn Prof. Lohmann für die Unterstützung bei den Milchsäure-Bestimmungen meinen Dank sagen.

Schrifttum.

Altenburger: Klin. Wochenschr. 1936, S. 1129.
Billing: Pflügers Arch. 1935, Bd. 235.
Van Eckelen und Klooy: s. Sieburg. Dtsch. med. Klin. 1937, I. Beilage: Arzt und Sport.
Ferrari: Pflügers Arch. 1932, Bd. 230.
Guarnaschelli-Raggio: Arch. Farmacol. sper. Sci. affini. 1938, 65, 105.
Hamel: Klin. Wochenschr. 1937, S. 1107.
Hill: Muskular activity.
Jezler und Kapp: Klin. Wochenschr. 1936, S. 979.
Jezler und Niederberger: Klin. Wochenschr. 1936, S. 710.
Krainz: Med. Klin. 1939, S. 1503.
Lemmel: Dtsch. Arch. f. klin. Med. 1938, Bd. 183.
Lehmann: Handbuch der Biochem. Ergebn. Bd. III, S. 113.
Lohmann: Oppenheimer und Pincussen: Die Methodik der Fermente. III. Band.
Mendel, Engel und Goldscheider: Klin. Wochenschrift 1925, Seite 262.
Meyerhof: Die chemischen Vorgänge im Muskel.
Ratsimanga: Comptes rendus des Séances de la Société de Biologie 1937, Bd. 126.
v. Scent-Györgyi: Dtsch. med. Wochenschr. 1932, S. 852.
Schroll: Pflügers Arch. 1938, Bd. 240.
Sieburg: Dtsch. med. Klin. 1937, I. Beilage: Arzt und Sport.
Sievers: Pflügers Arch. 1939, Bd. 242.
Sobecki: Medycyna Praktyczna 1939, S. 299.
Stepp, Kühnau und Schroeder: Die Vitamine und ihre klinische Anwendung.
Terzi und Falzoy: Giorn-Clin. Med. 1937, 18.
Tonutti: Klin. Wochenschr. 1937, S. 861.
Wachholder und Podestá: Pflügers Arch. 1937, Bd. 238.
Wachholder und Uhlenbrook: Pflügers Arch. 1935, Bd. 236.
Wiebel: Dtsch. med. Wochenschr. 1939, S. 60.

Lebenslauf.

Ich, Hans Achim Viereck, bin am 13. 4. 1916 als Sohn des damaligen Stabsarztes Dr. Heinrich Viereck und seiner Frau Margarete geb. André in Mainz geboren. Ich besuchte die Vorschule in Gummersbach (Rheinland) und Köln und das humanistische Gymnasium in Köln, Marienwerder (Westpr.), Kassel und Naumburg (Saale). Weihnachten 1935 bestand ich in Naumburg das Abitur. Nach Ablegung der Arbeitsdienstpflicht trat ich Ostern 1936 als Fahnenjunker (im San.-Korps) in das Heer ein. Ich studierte in Marburg und Berlin und bestand dort im Sommer 1937 das Vorphysikum und im Sommer 1938 das Physikum. Während der klinischen Semester war ich in Tübingen, Königsberg und Berlin immatrikuliert und machte im Frühjahr 1941 in Berlin das medizinische Staatsexamen.